

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 64-035306

(43)Date of publication of application : 06.02.1989

(51)Int.Cl.

G01B 11/06

G01N 21/41

(21)Application number : 62-192396

(71)Applicant : RICOH CO LTD

(22)Date of filing : 31.07.1987

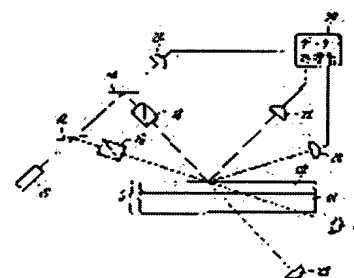
(72)Inventor : KIHARA TAMI

**(54) INCIDENCE ANGLE DETERMINING METHOD FOR REFRACTIVE INDEX AND FILM THICKNESS MEASUREMENT****(57)Abstract:**

**PURPOSE:** To determine the proper angle of incidence of measurement light by making S-polarized homogeneous light beams on a thin film at  $\geq 2$  different angles of incidence and measuring energy reflection factors corresponding to the angles of incidence.

**CONSTITUTION:** A laser 10 makes the S-polarized homogeneous light beams on the thin film 02 whose refractive index and thickness are to be measured at the  $\geq 2$  different angles  $\theta_j$  ( $j=1, 2, \dots$ ) of incidence to measure the energy reflection factors  $R_s(\theta_j)$  corresponding to the respective angles  $\theta_j$  of incidence. The reflection factor  $n_3$  of a substrate 01, on the other hand, is used to calculate reflection factors  $R_c(\theta_j)$  from an equation as to the respective reflection factors  $R_s(\theta_j)$ . Then angles other than the angle  $\theta_j$  at which the absolute value of the difference between said reflection factors  $R_s(\theta_j)$  and  $R_c(\theta_j)$  is minimum are determined as angles of incidence of the measurement light for refractive index and film thickness measurement.

$$R_c(\theta_j) = \frac{((\sqrt{1-n_3^2 \sin^2 \theta_j}) - (\sqrt{1-n_3^2 \sin^2 \theta_j}))}{((\sqrt{1-n_3^2 \sin^2 \theta_j}) + (\sqrt{1-n_3^2 \sin^2 \theta_j}))} \cdot R_s(\theta_j)$$

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

昭64-35306

⑪ Int. Cl.

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 昭和64年(1989)2月6日

G 01 B 11/06  
G 01 N 21/41Z-7625-2F  
Z-7458-2G

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑭ 発明の名称 屈折率・膜厚測定における入射角決定方法

⑮ 特 願 昭62-192396

⑯ 出 願 昭62(1987)7月31日

⑰ 発 明 者 木 原 民 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

⑱ 出 願 人 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号

⑲ 代 理 人 弁理士 榊 山 亨 外1名

## 明 細 書

発明の名称

屈折率・膜厚測定における

入射角決定方法

特許請求の範囲

1 既知の屈折率  $\tilde{n}_s (= n_s (1 + i k_s))$  を持つ基板上に形成された薄膜の屈折率・膜厚を測定するために、上記薄膜に入射させる測定光の入射角を決定する方法であって、

上記薄膜に対し、互いに異なる2以上の入射角  $\theta_j$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) でS偏光の単色光ビームを入射させ、各入射角  $\theta_j$  に対するエネルギー反射率  $R_E(\theta_j)$  を測定し、

一方、基板の屈折率  $\tilde{n}_s$  を用い、各入射角  $\theta_j$  について、

$$R_c(\theta_j) = \{ ((\sqrt{1 - \sin^2 \theta_j}) - (\sqrt{\tilde{n}_s^2 - \sin^2 \theta_j})) / ((\sqrt{1 - \sin^2 \theta_j}) + (\sqrt{\tilde{n}_s^2 - \sin^2 \theta_j})) \}^2$$

に従って  $R_c(\theta_j)$  を算出し、

上記  $R_E(\theta_j)$  と  $R_c(\theta_j)$  との差の絶対値が最小となる入射角  $\theta_j$  以外の角を、屈折率・膜厚測定

のための測定光の入射角として決定することを特徴とする入射角決定方法。

2 既知の屈折率  $\tilde{n}_s (= n_s (1 + i k_s))$  を持つ基板上に形成された薄膜の屈折率・膜厚を測定するために、上記薄膜に入射させる測定光の入射角を決定する方法であって、

上記薄膜に対し、入射角  $\theta$  を連続的に変化させてS偏光の単色光ビームを入射させ、各入射角  $\theta$  に対するエネルギー反射率  $R_E(\theta)$  を測定し、

一方、基板の屈折率  $\tilde{n}_s$  を用い、各入射角  $\theta$  について、

$$R_c(\theta) = \{ ((\sqrt{1 - \sin^2 \theta}) - (\sqrt{\tilde{n}_s^2 - \sin^2 \theta})) / ((\sqrt{1 - \sin^2 \theta}) + (\sqrt{\tilde{n}_s^2 - \sin^2 \theta})) \}^2$$

に従って  $R_c(\theta)$  を算出し、

上記  $R_E(\theta)$  と  $R_c(\theta)$  との差の絶対値が所定の値より大となる入射角領域の角を、屈折率・膜厚測定のための測定光の入射角として選択決定することを特徴とする入射角決定方法。

発明の詳細な説明

(技術分野)

本発明は、屈折率・膜厚測定における入射角決定方法に関する。

(従来技術)

薄膜の屈折率・膜厚を測定する方法として、従来のエリブソメトリーが知られている。エリブソメトリーは高精度測定であるが、測定する膜によっては測定精度が極端に悪くなることがあることが知られている。

上記測定精度の悪くなる領域は、測定光の入射角により変化するので、入射角を変えることで、測定精度の低下を防止できる事も知られている。

しかし、従来の測定方法では、良好な測定精度を得るのにどのような入射角を選択すべきかを予め知ることが出来ず、試行錯誤により適正な入射角を探さねばならなかった。また、測定光の入射角を変えて測定を行い、各入射角に応じて屈折率・膜厚の測定値を得た場合に、どの測定値が一番高精度であるかを知ることが出来なかった。

(目的)

本発明は上述した事情に鑑みてなされたもので

$$R_o(\theta_j) = \{ ((\sqrt{1-\sin^2 \theta_j}) - (\sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta_j})) / ((\sqrt{1-\sin^2 \theta_j}) + (\sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta_j})) \}^2$$

に従って  $R_o(\theta_j)$  を算出する。

上記  $R_o(\theta_j)$  と  $R_o(\theta)$  との差の絶対値が最小となる入射角  $\theta_j$  以外の角を、屈折率・膜厚測定のための測定光の入射角として決定する。

第2種の方法は、以下の如き特徴を有する。

屈折率・膜厚を測定すべき薄膜に対し、入射角  $\theta$  を連続的に変化させてS偏光の単色光ビームを入射させ、各入射角  $\theta$  に対するエネルギー反射率  $R_o(\theta)$  を測定する。

一方、基板の屈折率  $n_s$  を用い、各入射角  $\theta$  について、

$$R_o(\theta) = \{ ((\sqrt{1-\sin^2 \theta}) - (\sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta})) / ((\sqrt{1-\sin^2 \theta}) + (\sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta})) \}^2$$

に従って  $R_o(\theta)$  を算出する。

上記  $R_o(\theta)$  と  $R_o(\theta)$  との差の絶対値が、所定の値より大となる入射角領域の角を、屈折率・膜厚測定のための測定光の入射角として選択決定する。

## 特開昭64-35306(2)

あって、その目的とするところは、エリブソメトリー等で薄膜の屈折率・膜厚を測定するに際して、測定光の適正な入射角を決定しうる、入射角決定方法の提供にある。

(構成)

以下、本発明を説明する。

本発明の入射角決定方法は、既知の屈折率  $n_s$  ( $= n_s (1 + i k_s)$ ) を持つ基板上に形成された薄膜の屈折率・膜厚を測定するために、上記薄膜に入射させる測定光の入射角の入射角を決定する方法である。本明細書中に於いては2種の入射角決定方法が提案される。

第1種の方法は以下の如き特徴を有する。

屈折率・膜厚を測定すべき薄膜に対し、互いに異なる2以上の入射角  $\theta_j$  ( $j = 1, 2, \dots$ ) で、S偏光の単色光ビームを入射させ、各入射角  $\theta_j$  に対するエネルギー反射率  $R_o(\theta_j)$  を測定する。

一方、基板の屈折率  $n_s$  を用い、各入射角  $\theta_j$  について、

ここで、本発明の原理を説明する。

説明の具体性のために、Si基板上にSiO<sub>2</sub>の薄膜を形成したものを試料とし、その薄膜の屈折率・膜厚を測定する場合を例にとる。

基板となるSiは既知の屈折率  $n_s$  として3.858-0.02iを有する。この試料のSiO<sub>2</sub>の薄膜に測定光として、S偏光のHe-Neレーザー光(波長6328Å)を入射させ、入射角  $\theta$  を0°から90°まで連続的に変化させ、角入射角  $\theta$  に対するエネルギー反射率  $R_o(\theta)$  を測定すると、第1種の曲線1-1の如きものとなる。一方、基板上にSiO<sub>2</sub>の薄膜が無いものとし、空気層を介して基板に直接に測定光を入射させたものとして、エネルギー反射率  $R_o(\theta)$  を、

$$R_o(\theta) = \{ ((\sqrt{1-\sin^2 \theta}) - (\sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta})) / ((\sqrt{1-\sin^2 \theta}) + (\sqrt{n_s^2 - \sin^2 \theta})) \}^2$$

に従って算出してみると第1図の曲線1-2の如きものとなる。

第1図を見て分かるように、 $R_o(\theta)$  と  $R_o(\theta)$  とは、入射角  $\theta$  が70°を超えると実質的に同一

## 特開昭64-35306(3)

の値となっている。 $R_o(\theta)$ は上記式から明らかのように、その内容として、 $SiO_2$ の薄膜の屈折率に対する、情報を含んでいない。

入射角 $\theta$ が $70^\circ$ 以上で $R_s(\theta)$ と $R_o(\theta)$ とが実質的に同一となるということは、この入射角領域で得られるエネルギー反射率 $R_e(\theta)$ には、 $SiO_2$ の薄膜の屈折率に対する情報が殆ど含まれておらず、従って、かかる入射角領域( $\theta > 70^\circ$ 度)で得られるエネルギー反射率をもとにして薄膜の屈折率や膜厚を求めることが困難になることが明らかである。

逆に、 $R_s(\theta)$ と $R_o(\theta)$ との差の絶対値が大きくなるような入射角で測定を行えば、薄膜の屈折率や膜厚を精度よく測定できる筈である。

因に、入射角 $\theta$ に対するエネルギー反射率 $R_s(\theta)$ 、 $R_o(\theta)$ の大小関係は、 $0^\circ < \theta \leq 90^\circ$ に対して、常に $R_s(\theta) \leq R_o(\theta)$ であるか、又は常に $R_s(\theta) \geq R_o(\theta)$ である。

そこで本発明の第1種の方法では、上記の如くに、屈折率・膜厚を測定すべき薄膜に対し、互い

に異なる2以上の入射角 $\theta_j$  ( $j=1, 2, \dots$ )でS偏光の単色光ビームを入射させ、各入射角 $\theta_j$ に対するエネルギー反射率 $R_e(\theta_j)$ を測定し、一方、基板の屈折率 $n_s$ を用い、各入射角 $\theta_j$ について、 $R_o(\theta_j)$ を算出し、上記 $R_s(\theta_j)$ と $R_o(\theta_j)$ との差の絶対値が最小となる入射角 $\theta_j$ 以外の角を、屈折率・膜厚測定のための測定光の入射角として決定するのである。

また、第2種の方法では、屈折率・膜厚を測定すべき薄膜に対し、入射角 $\theta$ を連続的に変化させてS偏光の単色光ビームを入射させ、各入射角 $\theta$ に対するエネルギー反射率 $R_e(\theta)$ を測定し、一方、基板の屈折率 $n_s$ を用い、各入射角 $\theta$ について $R_o(\theta)$ を算出し、上記 $R_s(\theta)$ と $R_o(\theta)$ との差の絶対値が、所定の値より大となる入射角領域の角を、屈折率・膜厚測定のための測定光の入射角として選択決定するのである。

## (実施例)

以下、具体的な実施例に即して説明する。

## 実施例1

第4図を参照すると、符号0は測定試料を示す。この測定試料は前述したのと同じく、 $Si$ の基板01上に $SiO_2$ の薄膜02を形成したものであり、薄膜02の屈折率・膜厚が測定対象である。この実施例で、屈折率測定、膜厚測定はエリブソメーターで行った。

なお、基板01は前述の通り屈折率 $n_s$ として3.858-0.021を有し、薄膜02は、その屈折率が1.470、膜厚が5600Åである。

波長8328Åのレーザー光源であるHe-Neレーザー10からの光ビーム中に半透鏡12、14を置き、これら半透鏡12、14により反射された光ビームが試料0の薄膜02にそれぞれ入射角 $70^\circ$ 、 $40^\circ$ で入射するようにした。

即ち、半透鏡12、14に反射された光ビームはそれぞれグラントムソンプリズム16、18でS偏光とされ、上記入射角をもって薄膜02に入射する。

入射角 $70^\circ$ で入射した光ビームの反射光のパワーはフォトデテクター20により、また、入射

角 $40^\circ$ で入射した光ビームの反射光のパワーはフォトデテクター22により光電変換するようにした。

なお、予め半透鏡12、14を透過してフォトデテクター24に達する光のパワーと、半透鏡12、14により反射される光のパワーとを校正しておきフォトデテクター24で入射光量をモニターした。

なお、入射光量を測定するには、上記の方法の他、試料0の設置前にフォトデテクター21、23を用いて測定する方法もある。

上記のようにして測定されたエネルギー反射率は入射角 $\theta_j=70^\circ$ 、 $40^\circ$ に対し、

$$R_s(70^\circ) = 0.6931$$

$$R_o(40^\circ) = 0.1997$$

となった。

一方、基板01の屈折率3.858-0.021を用いて、入射角 $70^\circ$ 、 $40^\circ$ に対する $R_o(\theta_j)$ を算出すると、

$$R_o(70^\circ) = 0.6991$$

## 特開昭64-35306(4)

$$R_s(40^\circ) = 0.4419$$

となった。 $R_s(\theta_j)$ と $R_c(\theta_j)$ との差の絶対値は $\theta_j = 40^\circ$ の方が大きい。

そこで、エリブソメーターによる測定において、測定光の入射角を $40^\circ$ として、薄膜02の屈折率と膜厚とを測定した結果、屈折率として1.4702、膜厚として5805Åと極めて精度の良い測定値を得た。一方、比較のために入射角 $70^\circ$ で測定を行った場合、薄膜02の屈折率を既知のものとして与えなければ膜厚を算出することが出来なかった。

第2図にエリブソメーターのPSI-DELT A図を示す。同図(A)は入射角 $70^\circ$ に対するものであり、(B)は、入射角 $40^\circ$ に対するものである。入射角 $70^\circ$ では、薄膜02は屈折率の異なるグラフが込みあっており、屈折率決定が実際に極めて困難な領域に有ることが分かる。一方、入射角 $40^\circ$ では屈折率の異なるグラフ同士の間隔が広く、容易に屈折率を決定できる領域であることが分かる。

を理論的にもとめることができる。

一方、関数 $(\phi_p - \phi_s)$ はまた、測定によるエネルギー反射率を用いると、屈折率 $n_s$ の関数として実験式として定めることができる。

そこで、この実験式を

$$(\phi_p - \phi_s)_{\text{ex}} =$$

とする。未知の屈折率 $n_s$ は、方程式

$$(\phi_p - \phi_s)_{\text{ex}} = (\phi_p - \phi_s)_{\text{th}}$$

を $n_s$ について、数値的に解くことによって知ることができる。この方法を以下、便宜上、屈折率算出法とよぶ。実施例2は、本発明を上記屈折率算出法に適用する場合の例となっている。

測定試料は前述したのと同じくSiの基板01上にSiO<sub>2</sub>の薄膜02を形成したものであり、薄膜02の屈折率が測定対象である。

第5図を参照すると、He-Neレーザー10からの光ビームの光路中に半透鏡42、44、46、48、50を配備し、これら半透鏡による反射光の光路中にグラントムソンプリズム52、54、56、58、60を配備した。半透鏡42、

このように、 $R_s(\theta_j)$ と $R_c(\theta_j)$ との差の絶対値の小さい入射角領域とエリブソメトリで屈折率決定が困難な領域とは一致している。したがって、薄膜の屈折率・膜厚をエリブソメトリで測定する前に本発明の方法で測定光に対する入射角を決定することで常に高精度の測定を行うことが可能となる。

## 実施例2

発明者は先に、既知の基板の上に形成された薄膜の屈折率を測定する方法として、以下の如き方法を提案した。

$\tilde{n}_s (= n_s (1 + i k_s))$ を基板の既知の屈折率とし、薄膜の、未知の屈折率を $n_s$ とする。

薄膜の側から単色の光を入射させたとき、基板と薄膜との間の境界面で反射するときの位相変化をs偏光に対し $\phi_s$ 、p偏光に対し $\phi_p$ とすると、これらは理論的には、屈折率 $n_s$ 、 $k_s$ の関数として与えられるが、 $\tilde{n}_s$ が既知であるので、屈折率 $n_s$ を変数とする、理論的な関数

$$(\phi_p - \phi_s)_{\text{th}}$$

44、48、48、50により反射された光ビームの薄膜02への入射角は、それぞれ $70^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $40^\circ$ 、 $30^\circ$ である。

フォトデテクター24に入射する光パワーと、各半透鏡により反射される光パワーとを校正しておき、フォトデテクター24で入射光量をモニターした。

まず最初に、グラントムソンプリズム52～60を全てs偏光に合わせて、各入射角に対する反射光量をフォトデテクターアレイ70で検知し、データ処理系71に入力してエネルギー反射率 $R_s(\theta_j)$ を算出した。また、それぞれの角度 $\theta_j$ について基板の屈折率 $\tilde{n}_1$ を用い $R_c(\theta_j)$ を算出した。これら算出の結果を表1に示す。

$\theta_j$ (度)	表 1	
	$R_s(\theta_j)$	$R_c(\theta_j)$
30	0.0855	0.3979
40	0.1397	0.4419
45	0.2813	0.4702
60	0.5600	0.5858

## 特開昭64-35306(5)

70 0.0931 0.0931

次にグラントムソンプリズムを全てP偏光に合わせ、同様にして各入射角に対するエネルギー反射率 $R_p(\theta_j)$ を算出した。その算出結果および上記 $R_s(\theta_j)$ 、 $R_p(\theta_j)$ の値に基づき、前述の屈折率算出法により算出された薄膜02の屈折率を表2に示す。

$\theta_j$ (度)	$R_p(\theta_j)$	$n_x$
30	0.0945	1.470
40	0.1382	1.470
45	0.1557	1.470
50	0.1146	1.468
70	0.0233	算出不能

屈折率 $n_x$ の算出における前記 $(\phi_s - \phi_p)_x$ と $(\phi_s - \phi_p)_x$ の関係をもつ $\theta_j = 70^\circ$ の場合について第3図(A)に、また $\theta_j = 40^\circ$ の場合について同図(B)に示す。なお、屈折率の範囲は1.2~2.2としている。

入射角 $70^\circ$ では $(\phi_s - \phi_p)_x$ と $(\phi_s - \phi_p)_x$

なる $\theta_j$ を選ぶことは本発明の必須の構成要件ではない。

## 実施例3

実施例3は、本発明に於ける第2種の方法の実施例となつてゐる。

第6図に於いて、He-Neレーザー10からの光ビームは、半透鏡72で2光束に分離され、一方はモニター用のフォトデテクター83に入射し、他方はグラントムソンプリズム74を介して試料0の薄膜に入射する。試料0はターンテーブル76により回転させられ、これによって薄膜への入射角 $\theta$ は $0 \sim 90^\circ$ まで変化する。ターンテーブル78の回転はステッピングモーターで行われる。一方、試料0による反射光を受けるフォトデテクター82は回転アーム80上に固定されている。

回転アーム80はターンテーブル76と同軸に回転するが、その回転比は、ギヤーによりターンテーブル78の2倍に定められている。従って、ターンテーブル78が角 $\alpha$ だけ回転すると回転ア

ーム80がグラフとして殆ど直なりあり、同グラフの交点としての屈折率 $n_x$ の算出が不偏であることが明らかである。これに対し、 $\theta_j = 40^\circ$ では第4図に示すように、屈折率 $n_x$ の算出は精度よく行いうる。

このように、屈折率算出法で屈折率を求める場合も、 $R_s(\theta_j)$ と $R_p(\theta_j)$ との差の絶対値が非常に小さくなる入射角と、屈折率算出法で屈折率を算出出来ない入射角領域とが一致している。

したがって、屈折率算出法で薄膜02の屈折率を求める場合にも、測定に先立って、入射角 $\theta_j$ を2以上に変化させて、上記 $R_s(\theta_j)$ と $R_p(\theta_j)$ との差の絶対値が大きくなる $\theta_j$ を、測定光用の入射角として選択決定すれば良い。このとき $\theta_j$ を3種以上に変化させる場合は、上記 $R_s(\theta_j)$ と $R_p(\theta_j)$ との差の絶対値が最大となる $\theta_j$ を選べば間違いないが、表2からあきらかな様に、上記絶対値が最大となるもの以外の $\theta_j$ ( $40^\circ$ ,  $45^\circ$ )を選んでも十分な測定精度がえられるので、上記 $R_s(\theta_j)$ と $R_p(\theta_j)$ との差の絶対値が最大と

なる $\theta_j$ は、同方向へ2 $\alpha$ だけ回転しする。従って、ある入射角のときに反射光がフォトデテクター82に入射するようにしておけば、任意の入射角のとき、反射光は確実にフォトデテクター82に入射する。

すでに説明した試料に対し、入射角 $\theta$ を $0 \sim 90^\circ$ の範囲で連続的に変化したときの $R_s(\theta)$ が第1図の曲線1-1であり、算出された $R_p(\theta)$ が同図の曲線1-2である。

従って、この様に任意の入射角 $\theta$ に対して $R_s(\theta)$ と $R_p(\theta)$ との差が分かる場合には、上記絶対値が所定の値、例えば0.2以上となる $\theta$ の領域内の角度を測定光用の入射角として選択し決定すれば良い。

入射角として $30^\circ$ を選び、エリプソメーターで測定したところ、前記試料の薄膜02の屈折率は1.470、膜厚は5601Åであった。

## (効果)

以上、本発明によれば屈折率・膜厚測定において、測定光に対する適正な入射角を決定しうる。

特開昭 64-35306 (8)

全く新規な方法を提供できる。

この方法は上記の如き導成となっているので、海隆の屈折率や廣厚を適正に初定することが容易となり、適正な入射角を試行錯誤によらずして決定できるので、測定能率を有効に向上させることができる。

### 國圖の簡単な説明

第1図乃至第3図は本発明の原理を説明するための図、第4図は、本発明の1実施例を説明するための図、第5図は、別実施例を説明するための図、第6図は、他の実施例を説明するための図である。

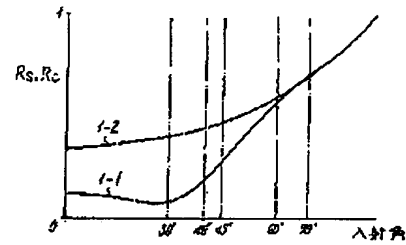
0. . . 試料、01. . . 基板、02. . . 薄膜、10. . . He-Neレーザー、12, 14. . . 半導体、16, 18. . . グラントムソンプリズム、20, 22, 24. . . フォトデテクタ

代理人

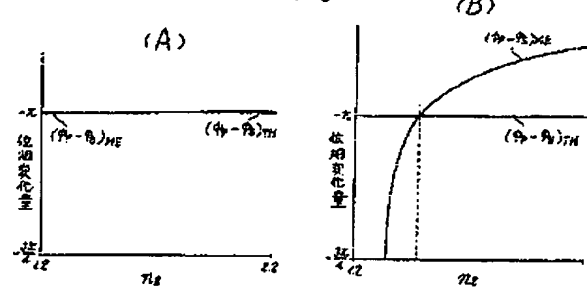
山多  
撫本



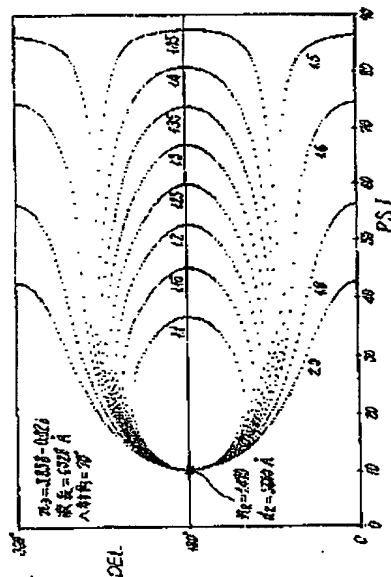
第 1 区



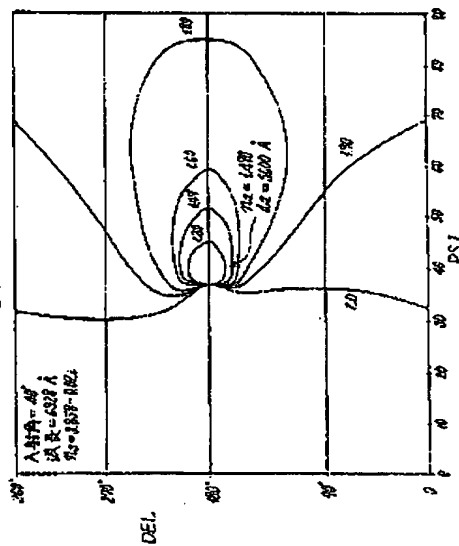
第 3 圖



第2回 (A)

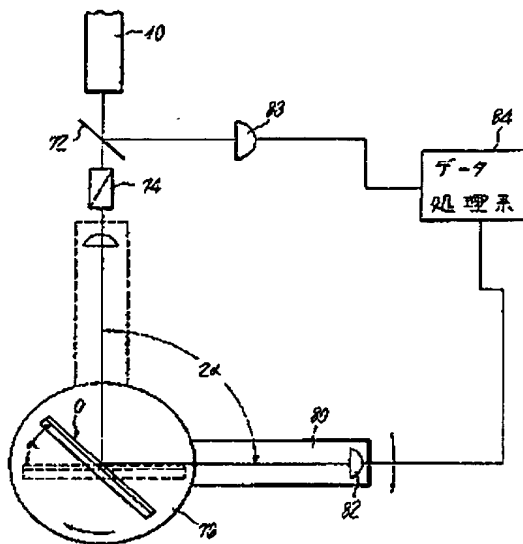


(B)

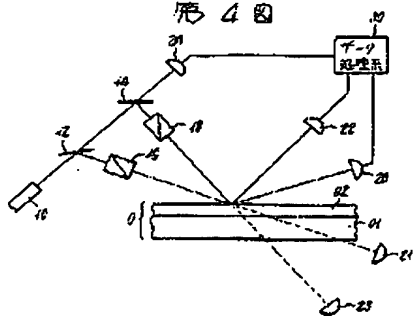


特開昭64-35306(7)

第 6 図



第 4 図



第 5 図

